

PCT

WELTOORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

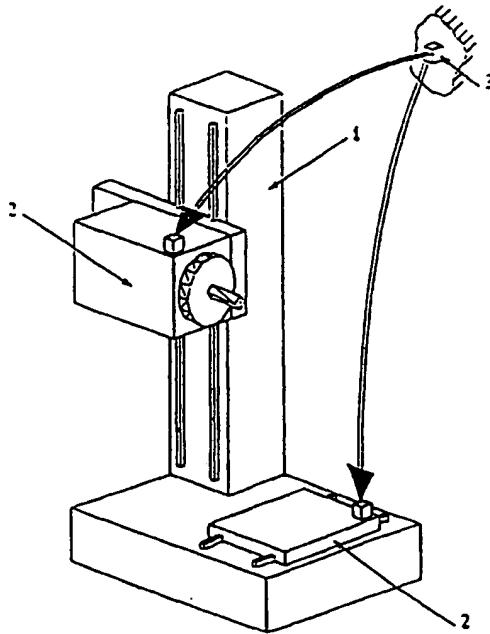
| | | |
|---|----|---|
| (51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G05B 19/404 | A1 | (11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/28797 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 10. Juni 1999 (10.06.99) |
| (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP98/06734 | | (81) Bestimmungsstaaten: CA, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). |
| (22) Internationales Anmeldedatum: 23. Oktober 1998 (23.10.98) | | |
| (30) Prioritätsdaten: 197 52 290.4 26. November 1997 (26.11.97) DE | | Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> |
| (71) Anmelder (<i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i>): HÜLER HILLE GMBH [DE/DE]; Schwieberdinger Strasse 80, D-71636 Ludwigsburg (DE). | | |
| (72) Erfinder; und | | |
| (75) Erfinder/Anmelder (<i>nur für US</i>): HORN, Wolfgang [DE/DE]; Pommernweg 24, D-74385 Pleidelsheim (DE). REI- BETANZ, Thomas [DE/DE]; Erlenweg 13/1, D-71711 Murr (DE). SCHMID, Martin [DE/DE]; Länge Strasse 39, D-71640 Ludwigsburg (DE). STENGELE, Gerald [DE/DE]; Friedhofstrasse 2, D-76327 Pfinztal (DE). | | |
| (74) Anwalt: DAHLKAMP, Heinrich-L.; Am Thyssenhaus 1, D-45128 Essen (DE). | | |

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING THE POSITION AND/OR ORIENTATION OF INTERACTING MACHINE UNITS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MESSUNG VON LAGE UND/ODER ORIENTIERUNG ZUSAMMEN-WIRKENDER MASCHINENEINHEITEN

(57) Abstract

The invention relates to a method for measuring the position and/or orientation of interacting machine units in measuring machines, handling devices or especially tools, spindles and workpieces in machine tools. At least one machine unit can move in relation to another and at least the positions of the machine units can be corrected. The invention is characterised in that each machine unit comprises sensors which measure at least two variables (distance, angle, orientation) or a variation thereof, and the planar or spatial position and/or orientation of said machine units in relation to each other or in relation to a common reference system or different reference systems is measured simultaneously or substantially simultaneously, continuously or at regular intervals that are as short as possible, independently of the drive axes of said machine units and without placing the sensors or machine units in a special measuring position.



(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung von Lage und/oder Orientierung zusammenwirkender Maschineneinheiten an Meßmaschinen, Handlingseinrichtungen oder insbesondere Werkzeugen, Spindeln und Werkstücken an Werkzeugmaschinen, wobei mindestens eine Maschineneinheit relativ zu einer anderen bewegbar ist und gegebenenfalls Positionen der Maschineneinheiten korrigiert werden. Die Erfindung besteht darin, daß bei jeder Maschineneinheit mittels Sensoren, die mindestens zwei der Größen: Abstand, Raumwinkel, Orientierung oder eine ihrer Änderungsgrößen messen, gleichzeitig oder im wesentlichen gleichzeitig, kontinuierlich oder in möglichst kurzen regelmäßigen Abständen, unabhängig von den Antriebsachsen der Maschineneinheiten und ohne die Sensoren oder die Maschineneinheiten in eine spezielle Meßposition zu versetzen, die ebene oder räumliche Lage und/oder Orientierung der Maschineneinheiten zueinander oder der Maschineneinheiten zu einem gemeinsamen Bezugssystem oder der Maschineneinheiten zu verschiedenen Bezugssystemen gemessen wird.

BEST AVAILABLE COPY

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

| | | | | | | | |
|----|------------------------------|----|--------------------------------------|----|--|----|-----------------------------------|
| AL | Albanien | ES | Spanien | LS | Lesotho | SI | Slowenien |
| AM | Armenien | FI | Finnland | LT | Litauen | SK | Slowakei |
| AT | Österreich | FR | Frankreich | LU | Luxemburg | SN | Senegal |
| AU | Australien | GA | Gabun | LV | Lettland | SZ | Swasiland |
| AZ | Aserbaidschan | GB | Vereinigtes Königreich | MC | Monaco | TD | Tschad |
| BA | Bosnien-Herzegowina | GE | Georgien | MD | Republik Moldau | TG | Togo |
| BB | Barbados | GH | Ghana | MG | Madagaskar | TJ | Tadschikistan |
| BE | Belgien | GN | Guinea | MK | Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien | TM | Turkmenistan |
| BF | Burkina Faso | GR | Griechenland | ML | Mali | TR | Türkei |
| BG | Bulgarien | HU | Ungarn | MN | Mongolei | TT | Trinidad und Tobago |
| BJ | Benin | IE | Irland | MR | Mauretanien | UA | Ukraine |
| BR | Brasilien | IL | Israel | MW | Malawi | UG | Uganda |
| BY | Belarus | IS | Island | MX | Mexiko | US | Vereinigte Staaten von Amerika |
| CA | Kanada | IT | Italien | NE | Niger | UZ | Usbekistan |
| CF | Zentralafrikanische Republik | JP | Japan | NL | Niederlande | VN | Vietnam |
| CG | Kongo | KE | Kenia | NO | Norwegen | YU | Jugoslawien |
| CH | Schweiz | KG | Kirgisistan | NZ | Neuseeland | ZW | Zimbabwe |
| CI | Côte d'Ivoire | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | PL | Polen | | |
| CM | Kamerun | KR | Republik Korea | PT | Portugal | | |
| CN | China | KZ | Kasachstan | RO | Rumänien | | |
| CU | Kuba | LC | St. Lucia | RU | Russische Föderation | | |
| CZ | Tschechische Republik | LI | Liechtenstein | SD | Sudan | | |
| DE | Deutschland | LK | Sri Lanka | SE | Schweden | | |
| DK | Dänemark | LR | Liberia | SG | Singapur | | |
| EE | Estland | | | | | | |

**Verfahren und Vorrichtung zur Messung von Lage und/oder
Orientierung zusammenwirkender Maschineneinheiten**

5

Beschreibung:

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung von Lage und/oder Orientierung zusammenwirkender Maschineneinheiten gemäß Oberbegriff der Ansprüche 1 und 9.

10

Unter Maschineneinheiten werden nachfolgend nicht nur bei Werkzeugmaschinen die Werkzeuge und Werkstücke mit ihren entsprechenden Halterungen, insbesondere Arbeitsspindeln und Werkzeugtischen verstanden. Es kann sich auch allgemein um

15

Operationseinheiten, z.B. auch um Handlings- und Meßeinheiten handeln, deren Lage und/oder Orientierung im Vergleich zu einer zweiten Einheit, z.B. zu einer zu bearbeitenden Baugruppe, exakt gemessen werden muss.

20

Bei der Bestimmung von Lage und / oder Orientierung eines Körpers („Meßobjekt“) in der Ebene oder im Raum lassen sich die folgenden an sich bekannten Messaufgaben unterscheiden:

Messungen in der Ebene:

25

- Position in der Ebene (z.B. X / Y im kartesischen Koordinatensystem)
- Orientierung in der Ebene um eine Drehachse
- Position und Orientierung in der Ebene.

Messungen im Raum:

30

- Position im Raum (z.B. X / Y / Z im kartesischen Koordinatensystem)
- Orientierung im Raum um 1 bis 3 Drehachsen

– Position und Orientierung im Raum um 1 bis 3 Drehachsen.

- Bei einer Werkzeugmaschine gehört es z.B. zum Stand der Technik, dass die Bewegungen des Werkzeughalters mit dem Werkzeug in X-, Y- und Z-
- 5 Richtung durch serielle Wegmeßsysteme z.B. mit Hilfe von Maßstäben erfaßt werden. In ähnlicher Weise kann auch die Bewegung des Werkstückhalters mit dem darauf oder daran befestigten Werkstück erfaßt und kontrolliert werden. Bekannt ist es auch, Drehungen von
- 10 Maschineneinheiten über Winkelmeßeinrichtungen zu erfassen und zu regeln. Bei diesen bekannten Systemen besteht das Problem, daß thermische, statische oder dynamische Einflüsse auf die Maschinenstruktur nicht oder nur teilweise erfaßt werden und es insofern zu Fehlern bei der Messung und Bearbeitung der Werkstücke kommen kann.
- 15 Aus der DE 34 45 254 A1 ist eine Verstelleinrichtung für nebeneinander angeordnete und in gegenseitigem Abstand einachsig verfahrbare Bearbeitungseinheiten bekannt, wobei zur Erfassung des Abstandes der einzelnen Bearbeitungseinheiten eine nach dem Triangulationsmeßprinzip arbeitende, stationär neben den Einheiten angeordnete Distanzmeßeinrichtung dient. Hierbei sind in deren praktisch parallelen Lichtstrahl selektiv Reflektoren der einzelnen Bearbeitungseinheiten einföhrbar und der Auftreffpunkt des auf alle Reflektoren unter dem gleichen Einfallswinkel auftreffenden Lichtstrahls wird von einer Meßoptik
- 20 abgebildet. Die Lage des abgebildeten Auftreffpunktes ist dabei ein Maß für die Distanz und soll für die Verstellung der Bearbeitungseinheit in die gewünschte Position verwendet werden. Dieses Meß- und Verstellsystem erfaßt aber nur Lageänderungen in einer Richtung.
- 25 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes Verfahren vorzuschlagen, bei dem auf einfache Weise eine Messung der

- Lage und/oder Orientierung zusammenwirkender Maschineneinheiten erfolgt, sodass thermische, statische oder dynamische Einflüsse auf die Maschinenstruktur, insbesondere Verformungen ganz oder teilweise zum Zwecke einer Kompensation erfaßt werden und auf die konventionellen
- 5 Meßmethoden weitgehend verzichtet werden kann.

Die Lösung dieser Aufgabe ist in den Ansprüchen 1 und 9 angegeben.

Die Unteransprüche 2 bis 8 sowie 10 und 11 enthalten sinnvolle ergänzende Vorschläge.

10

- Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren können verschiedene Sensoren in unterschiedlichen Kombinationen angewandt werden. Wichtig ist hierbei aber, daß die Sensoren parallel wirken und unabhängig von den Antriebsachsen der Maschineneinheiten kontinuierlich oder in möglichst kurzen Abständen regelmäßig messen, ohne dabei die Sensoren und/oder die Maschineneinheiten in einer speziellen Meßposition verfahren zu müssen. Die Sensoren messen dabei mindestens zwei der Größen Abstand, Raumwinkel, Orientierung oder eine ihrer Änderungsgrößen. Zu den Änderungsgrößen kann dabei zum Beispiel die
- 15 Beschleunigung zählen. Vorgesehen sind also im wesentlichen geometrische oder kinematische Sensoren, nicht gemeint sind zum Beispiel an verschiedenen Stellen eines Maschinenständers angebrachte Temperaturfühler, mit denen Temperaturänderungen und damit indirekt auch in begrenztem Maße temperaturbedingte Längenänderungen
- 20
- 25 gemessen werden können.

Vorzugsweise werden erfindungsgemäß soweit möglich berührungslos messende Sensoren verwendet. Die verschiedenen erfindungsgemäßen Meßvarianten sind in den Unteransprüchen näher beschrieben.

30

Die Sensoren in Verbindung mit der Art ihrer Anbringung bzw. Wirkung lassen sich in zwei Klassen unterteilen.

In der ersten Klasse werten sie direkte Koordinaten oder Änderungen
5 dieser Koordinaten bezüglich der benutzten Bezugssysteme aus.
Darunter fallen zunächst die klassischen Meßsysteme (Längen- und
Winkelmeßsysteme) sowie berührungslose Meßsysteme, wie z.B.
10 Laserinterferometer, wenn sichergestellt ist, daß der im betrachteten
kartesischen Koordinatensystem zu messende Freiheitsgrad stets mit der
Meßachse identisch ist. Auch sog. Trägheitsmeßsysteme gehören in
diese Klasse. Ist nämlich das betrachtete kartesische Koordinatensystem
15 ein Inertialsystem, registrieren diese die Änderungen in den
Koordinatenachsen direkt. Ein translatorisches Trägheitsmeßsystem ist
z.B. ein Beschleunigungsaufnehmer, rotatorische Trägheitsmeßsysteme
sind z.B. Kreisel oder Ringlaser.

Bei Mitgliedern der zweiten Sensor-Wirkungs-Klasse werden die
Eigenschaften von Punkt-zu-Punkt Beziehungen zwischen Punkten, deren
Lage im benutzten Bezugssystem bekannt ist oder gemessen wird (=
20 Punkte der Meßbasis) sowie Punkten, deren Lage in einem mit dem
Meßobjekt bewegten Koordinatensystem bekannt ist oder gemessen wird
(= Objektpunkte) ausgewertet. Solche Eigenschaften von Punkt-zu-Punkt
Beziehungen sind z.B. Abstände zwischen den zwei Punkten sowie der
oder die Raumwinkel der Verbindungsgeraden zwischen den zwei Punkten
25 („Meßstrahlen“) im benutzten Bezugssystem. Zur Bestimmung von
Abständen kommen z.B. Laser-Interferometer in Betracht, zur
Bestimmung von Raumwinkeln entsprechende Geräte.

Bei der Messung von Lage und/oder Orientierung eines Meßobjektes in
30 der Ebene / im Raum werden bei Sensoren aus der zweiten Sensor-
Wirkungs-Klasse üblicherweise mehrere Sensoren gleichzeitig

ausgewertet, um aus der Gesamtheit sämtlicher Messungen, teilweise unter Einbeziehung bereits bekannter Informationen betreffend die Anordnung der verschiedenen Sensoren und Punkte, die gewünschte Position und ggf. Orientierung zu bestimmen. Der Umstand, daß die

5 Messungen der einzelnen Sensoren aus der zweiten der o.g. Sensorklassen nicht mit den zu messenden Achsbewegungen übereinstimmen, sondern aus der Gesamtheit der Messungen sämtliche interessierenden Daten berechnet werden, wird als „parallel wirkende Sensoren“ bezeichnet. Im Bereich der Hexapod-Maschinen werden auf

10 der Basis von sechs nicht mit den Koordinatenachsen eines Bezugssystems zusammenfallenden Abstandsmessungen, die Lage und Orientierung von Arbeitsplattformen bestimmt, wobei die von den Sensoren gemessenen Freiheitsgrade stets mit den Antriebsachsen der Maschinen zusammenfallen. Die Anwendung solcher Meßprinzipien

15 unabhängig von den Maschinenachsen, z.B. mit berührungslosen Sensoren, stellt dagegen im Bereich des Maschinenbaus ein Novum dar.

Die Erfindung wird anhand der beigefügten Tabellen 1 bis 3 und der Figuren 1 bis 13 beispielsweise näher erläutert. Es zeigen:

- 20 Tabelle 1 Sensortypen
 Tabelle 2 Symbole für weitere Sensortypen
 Tabelle 3 Anwendungsformen paralleler Meßprinzipien
- 25 Figur 1 Positionsbestimmung aus 3 Abstandsmessungen
 Figur 2 Positionsbestimmung aus 2 Abstands- und 1 Raumwinkel-Messung
 Figur 3 Positionsbestimmung aus 1 Abstands- und 2 Raumwinkel-Messungen
 30 Figur 4 Positionsbestimmung aus 3 Raumwinkel-Messungen

- („Triangulation“)
- Figur 5 die Bestimmung von Lage und Orientierung aus 9 Abstandsmessungen gem. Variante IIa).
- Figur 6 die Bestimmung von Lage und Orientierung aus 6 Abstandsmessungen unter Verwendung dreier Objektpunkt-Abstände gem. Variante IIb).
- 5 Figur 7 zeigt die Bestimmung von Lage und Orientierung aus 9 Raumwinkelmessungen gem. Variante IIa).
- Figur 8 die Bestimmung von Lage und Orientierung aus 6 Raumwinkelmessungen unter Verwendung dreier Objektpunkt-Abstände gem. Variante IIb).
- 10 Figur 9 Direkte Messung zwischen zwei Maschineneinheiten
- Figur 10 Vermessung zweier Maschineneinheiten vom Maschinenständer
- 15 Figur 11 Vermessung zweier Maschineneinheiten vom Maschinenständer aus über zwei Basen
- Figur 12 Vermessung zweier Maschineneinheiten von einer hallenfesten Basis aus
- 20 Figur 13 Direkte Vermessung eines Maschinenständers
- Soll über die Positionsbestimmungen hinaus auch die Orientierung des Meßobjekts um eine bis drei Koordinatenachsen bestimmt werden, gibt es 25 prinzipiell zwei Varianten.

- I) Man verwendet Orientierungs-Sensoren gemäß der ersten der o.g. Sensorklassen, d.h., man mißt die Orientierungen direkt.

II) Man bestimmt die Positionen weiterer Punkte des Objekt-Koordinatensystems („Objektpunkte“) gemäß den o.g. Möglichkeiten und damit die Orientierung des Objekt-Koordinatensystems selbst.

- 5 Zur Möglichkeit nach II) ist zu bemerken, daß sich aus zwei bekannten Objektpunkten bereits die Orientierung um zwei Koordinatensystem-Achsen bestimmen lassen. Zur Bestimmung von drei Orientierungen werden dann die Positionen dreier Objektpunkte benötigt.
- 10 Stehen zur Positionsbestimmung der zusätzlichen Objektpunkte Informationen über den Abstand / die Abstände / Winkel und Abstände der Objekt-Punkte untereinander zur Verfügung, reduziert sich die Anzahl der benötigen Sensoren um einen (bei Bestimmung eines zusätzlichen Objektpunktes bei einem berücksichtigten Abstand) bzw. um bis zu drei
- 15 (bei Bestimmung zweier zusätzlicher Objektpunkte bei drei berücksichtigten Abständen oder Winkeln). Die Zahlen entsprechen andererseits genau der Anzahl notwendiger Sensoren die notwendig ist, um z.B. bei vorhandener thermischer Drift diese Objektpunkt-Abstände zu überwachen. Für die Variante II) ergeben sich damit die folgenden
- 20 Untervarianten:
 - Ila) Positionsbestimmung weiterer Objektpunkte lediglich unter Verwendung der Punkt-zu-Punkt Beziehungen zwischen Basis- und Objektpunkten.
 - 25 Ilb) Positionsbestimmung weiterer Objektpunkte unter Einbeziehung der Punkt-zu-Punkt Beziehungen der Objektpunkte untereinander.
- 30 Bei der Variante IIb) sind i.A. größere Einschränkungen im Anwendungsraum notwendig als bei Ila), da in diesen Fällen die mehrfachen Lösungen der i.d.R. nichtlinearen Gleichungssysteme näher

beieinander liegen oder da wegen der Nähe von Singularitäten nur ungenaue Positionsbestimmungen möglich sind.

Zur vollständigen Bestimmung von Lage und Orientierung eines

- 5 Meßobjektes gemäß der Varianten IIa) und IIb) sollen von den vielfältigen Möglichkeiten jeweils zwei typische Beispiele angegeben werden und zwar jeweils lediglich unter Verwendung von Abstands- bzw.

Winkelsensoren.

- 10 Nach Figur 5 wird jeder Objektpunkt gem. der Positionsbestimmung nach Variante 1 behandelt.

In der linken Abbildung der Figur 6 wird ein Objektpunkt (hier: der im Ursprung des (.)'- bzw. Objekt-Koordinatensystems gelegene) gem. der

- 15 Positionsbestimmung nach Variante 1 behandelt. Unter Verwendung der Objektpunkt-Abstände werden für die weiteren Punkte nur 2 bzw. 1 Abstandsmessung(en) benötigt. In der rechten Abbildung der Figur 6 werden pro Objektpunkt zwei Abstandsmessungen ausgewertet, ähnlich der Aktor-Anordnung bei vielen Hexapod-Maschinen.

- 20 Nach Figur 7 wird jeder Objektpunkt gem. der Positionsbestimmung nach Variante 4 behandelt.

Nach Figur 8 wird ein Objektpunkt (hier: der im Ursprung des (.)'- bzw.

- 25 Objekt-Koordinatensystems gelegene) gem. der Positionsbestimmung nach Variante 4 behandelt. Unter Verwendung der Objektpunkt-Abstände werden für die weiteren Punkte nur 2 bzw. 1 Raumwinkelmessung(en) benötigt.

- Bis zu dieser Stelle wurde die Bestimmung von relativer Lage und / oder
30 Orientierung zweier Koordinatensysteme zueinander auf verschiedene Weisen betrachtet. Bei Meßaufgaben im Bereich der Werkzeug- und

- Meßmaschinen sowie der Handlungseinrichtungen lassen sich diese Methoden unterschiedlich anwenden, wobei stets Lage und / oder Orientierung zwischen mindestens zwei zusammenwirkenden Maschineneinheiten, also z.B. zwischen einer Arbeitsspindel und einem
- 5 Werkstücktisch zu bestimmen ist. Die unterschiedlichen Anwendungsformen unterscheiden sich darin, wie die verschiedenen Koordinatensysteme mit den Maschineneinheiten verknüpft sind. Eine Übersicht verschafft Tabelle 3.
- 10 Für die Anwendungsformen nach Tabelle 3, Zeilen 1 bis 4 werden in Figur 9 bis Figur 12 Beispiele aus dem Wekzeugmaschinenbau angegeben.
- Einen Überblick über die möglichen Sensorarten einschließlich der jeweiligen geometrischen Zusammenhänge zur Positionsbestimmung gibt
- 15 die Tabelle 1. Die zeichnerischen Symbole sind für die Beschreibungen verschiedener Meßverfahren vorgesehen.
- Weitere zur Darstellung der verschiedenen Meßverfahren benutzte Symbole sind aus Tabelle 2 zu entnehmen.
- 20 Beispielsweise für den Fall einer einfachen Positionsbestimmung im Raum mittels Abstands- und/oder Winkelmessungen (Sensoren aus der zweiten der o.g. Klassen) gibt es prinzipiell vier verschiedene Möglichkeiten, die jeweils auf drei Einzelmessungen beruhen. Dabei wird
- 25 stets die Lage eines Objektpunktes im Koordinatensystem der Meßbasis bestimmt. In den Figuren 1 bis 4 ist jeweils diejenige Möglichkeit dargestellt, die mit der geringsten Anzahl von Basispunkten auskommt.
- Bei den Anwendungsformen gemäß Tabelle 3, Zeilen 2 bis 5 bzw. nach
- 30 Figur 10 bis Figur 12 handelt es sich um sogenannte „verkettete Messungen“. Sie können z.B. dadurch legitimiert sein, daß mehrere

Maschineneinheiten von einer Meßbasis aus kostengünstig vermessen werden können oder daß man erreicht, daß Messungen außerhalb des Maschinen-Arbeitsraumes und damit weniger fehleranfällig durchgeführt werden können. Solche verketteten Messungen werden stets über eine

5 Differenzen-Bildung verknüpft, wobei jeweils gleiche oder gleichwertige Meßprinzipien auf beide einbezogenen Teilmessungen anzuwenden sind.

Werden verschiedene Meßprinzipien für die zwei Teilmessungen angewandt, kann die Differenzen-Bildung nur in der Schnittmenge der ausgewerteten Freiheitsgrade (betrachtet im gleichen Koordinatensystem)

10 erfolgen.

Beispiele:

- Mit der Verkettung von reiner Positions- sowie einer Positions- und Orientierungsmessung kann über die Differenzen-Bildung nur eine Positionsbestimmung durchgeführt werden.
- Eine Differenzen-Bildung aus zwei Orientierungs-Messungen um je zwei Drehachsen lässt sich nur dann durchführen, wenn die beiden Drehachsen jeweils den gleichen Unterraum (in demselben Koordinatensystem betrachtet) aufspannen, wenn sie also in derselben Ebene liegen. Beide Einzelmessungen beinhalten dann Informationen über die gleichen Dreh-Freiheitsgrade.

Verkettete Messungen bedeuten eine Abkehr vom bzw. eine Erweiterung des eigentlichen Prinzips paralleler Sensorik, da hier die parallel-sensorischen Einzelmessungen seriell angewandt werden. Die möglichen Vorteile sind deshalb stets gegen die damit verbundenen Einbußen an Meßgenauigkeit abzuwägen.

Im Bereich der Werkzeug- und Meßmaschinen sowie der

30 Handlungseinrichtungen sind weitere Anwendungsformen parallel-sensorischer Lage- und Orientierungsmessung denkbar. So können

beispielsweise die Achsbewegungen der Maschineneinheiten einer Werkzeugmaschine wie bisher üblich konventionell, d.h. direkt und seriell gemessen werden. Über eines der erfindungsgemäßen Meßverfahren lassen sich dann z.B. direkt, wie in Figur 13 dargestellt oder auch über 5 eine hallenfeste Meßbasis, die Verformungen des Maschinenständers zur Durchführung einer Kompensation ermitteln.

Die Bezeichnungen in den Figuren 9 bis 13 bedeuten folgendes: 1 -
Maschinenständer, 2 - Maschineneinheit, 3 - hallenfeste Meßbasis, der
10 Doppelpfeil bezeichnet eine allgemeine nicht näher bestimmte Messung
(Meßbasis - Meßobjekt - Relation).

-12-

| Typ d. Sensors | Sensor identifiziert Zugehörigkeit des Objektpunktes zu ... | Symbol |
|---|--|--------|
| Abstand Basispunkt-Objektpunkt | Oberfläche einer Kugel um Basispunkt | |
| (Raum-)Winkel des Meßstrahls um 1 (angegebene) Drehachse | Halbebene durch Basispunkt | |
| (Raum-)Winkel des Meßstrahls um 2 (angegebene) Drehachsen | Halbgerade durch Basispunkt (Schnittmenge zweier Halbebenen) | |
| Abstand Basispunkt-Objektpunkt und (Raum-)Winkel des Meßstrahls um 1 Drehachse | Halbkreis auf Halbebene um/durch Basispunkt (Schnittmenge von Kugel und Halbebene) | |
| Abstand Basispunkt-Objektpunkt und (Raum-)Winkel des Meßstrahls um 2 Drehachsen | Punkt - eindeutig (Schnittmenge von Halbgerade und Kugel um/durch Basispunkt) | |
| Orientierung des Meßobjektes um 1 bis 3 (angegebene) Drehachsen | | |

Tabelle 1

| Sachverhalt | Symbol |
|---|--------|
| Basispunkt | |
| Objektpunkt | |
| Messung allgemein unter Auswertung der angegebenen Freiheitsgrade | |
| Achse eines an der Meßbasis befestigten Koordinatensystems | |
| Achse eines mit dem Meßobjekt bewegten Koordinatensystems | |

Tabelle 2

-13-

| Nr. | Beschreibung | Halle (z.B. Dach) | Maschinen- Ständer | Maschinen- Einheit 1 | Maschinen- Einheit 2 | Bemerkung |
|-----|---|----------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|--|
| 1 | Direkte Messung zwischen zwei Maschineneinheiten | - | - | Basis 1 | Objekt 1 | Prinzipiell genaueste Variante, aber problematisch da meist im Arbeitsraum |
| 2 | Vermessung zweier Maschineneinheiten vom Maschinenstän- der aus über eine Basis | - | Basis 1 | Objekt 1 | Objekt 2 | |
| 3 | Vermessung zweier Maschineneinheiten vom Maschinenstän- der aus über zwei Basen | - | Basis 1 + Basis 2 | Objekt 1 von Basis 1 | Objekt 1 von Basis 2 | Kurze Meßstrecken, berücksichtigt aber (z.B. thermische) Verformung des Maschinenständers ohne zusätzliche Messung nicht |
| 4 | Vermessung zweier Maschineneinheiten von einer hallenfesten Basis aus | Basis 1 | | Objekt 1 | Objekt 2 | Meist lange Meßstrecken, d.h. fehleranfällig. Für Raumwinkel- Sensoren eher ungeeignet. |
| 5 | Vermessung zweier Maschineneinheiten von zwei hallenfesten Basen aus | Basis 1 + Basis 2 | | Objekt 1 von Basis 1 | Objekt 1 von Basis 2 | Lange Meßstrecken. Berücksichtigt Verschiebungen der Meßbasen gegeneinander ohne zusätzliche Messung nicht |

Tabelle 3

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Messung von Lage und/oder Orientierung zusammenwirkender Maschineneinheiten an Meßmaschinen,
5 Handlingseinrichtungen oder insbesondere Werkzeugen, Spindeln und Werkstücken an Werkzeugmaschinen, wobei mindestens eine Maschineneinheit relativ zu einer anderen bewegbar ist und gegebenenfalls Positionen der Maschineneinheiten korrigiert werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei jeder Maschineneinheit
10 mittels Sensoren, die mindestens zwei der Größen Abstand, Raumwinkel, Orientierung oder eine ihrer Änderungsgrößen messen, gleichzeitig oder im wesentlichen gleichzeitig, kontinuierlich oder in möglichst kurzen regelmäßigen Abständen, unabhängig von den Antriebsachsen der Maschineneinheiten und ohne die Sensoren
15 oder die Maschineneinheiten in eine spezielle Meßposition zu verfahren, die ebene oder räumliche Lage und/oder Orientierung der Maschineneinheiten zueinander oder der Maschineneinheiten zu einem gemeinsamen Bezugssystem oder der Maschineneinheiten zu verschiedenen Bezugssystemen gemessen wird.
20
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß nach Messung der ebenen oder räumlichen Lage und/oder Orientierung der Maschineneinheiten zu einem gemeinsamen Bezugssystem anschließend die Lage und/oder Orientierung der
25 Maschineneinheiten zueinander bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß nach Messung der ebenen oder räumlichen Lage und/oder Orientierung der Maschineneinheiten zu verschiedenen
30 Bezugssystemen und nach Messung oder Bestimmung der Lage und/oder Orientierung der Bezugssysteme zueinander die Lage

und/oder Orientierung der Maschineneinheiten zueinander bestimmt wird.

- 5 4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoren berührungslos messen.
5. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens einer der Sensoren den Abstand zwischen einem Punkt einer Meßbasis und einem Punkt der Maschineneinheit mißt.
- 10 6. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens einer der Sensoren den Raumwinkel des Meßstrahles zwischen einem Punkt der Meßbasis und einem Punkt der Maschineneinheit um mindestens eine Achse des Bezugssystems mißt.
- 15 7. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens einer der Sensoren die Verdrehung der Maschineneinheit (Orientierung) um mindestens eine der Achsen des Bezugssystems mißt.
- 20 8. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei Verwendung mehrerer Meßpunkte an der Maschineneinheit oder an der Meßbasis die Abstände der Punkte untereinander bekannt sind oder gemessen werden.
- 25

9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, daß der Abstandssensor ein Laser-
Interferometer ist.
- 5 10. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß der Orientierungs-Sensor ein
Ringlaser oder ein Kreisel ist.
- 10 11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach mindestens
einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
daß die Sensoren an den Maschineneinheiten selbst an mindestens
einem Punkt des Maschinengestells befestigten Koordinatensystems
oder an Gegenständen in der Umgebung als Hallenfeste Meßbasis
angeordnet sind.

1/5

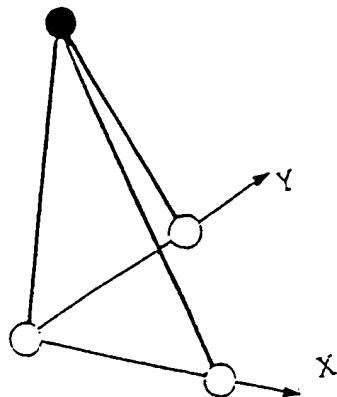


Fig. 1

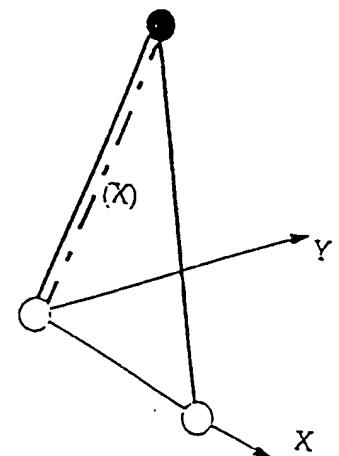


Fig. 2

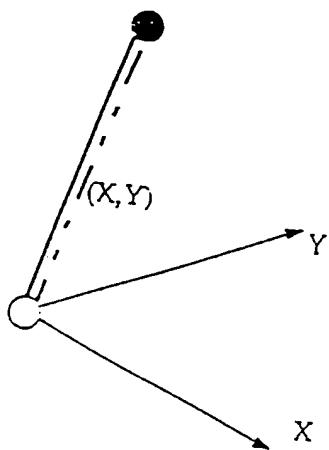


Fig. 3

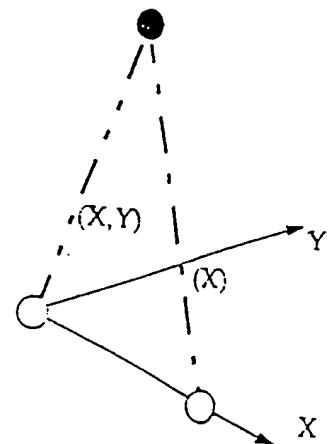


Fig. 4

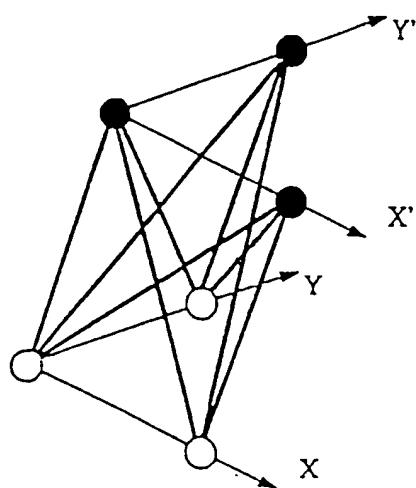


Fig. 5

2/5

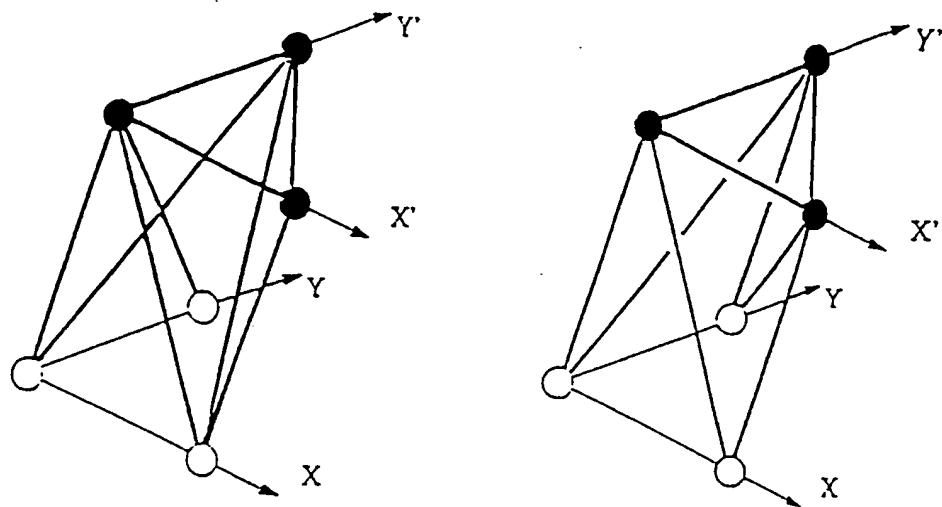


Fig. 6

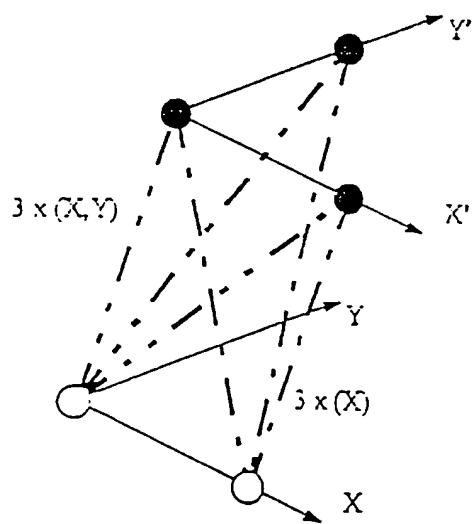


Fig. 7

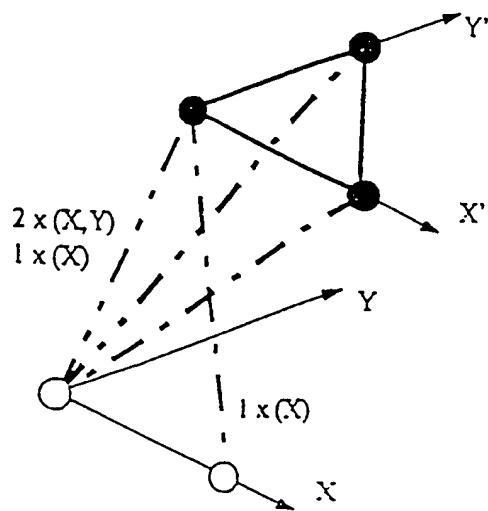


Fig. 8

3/5

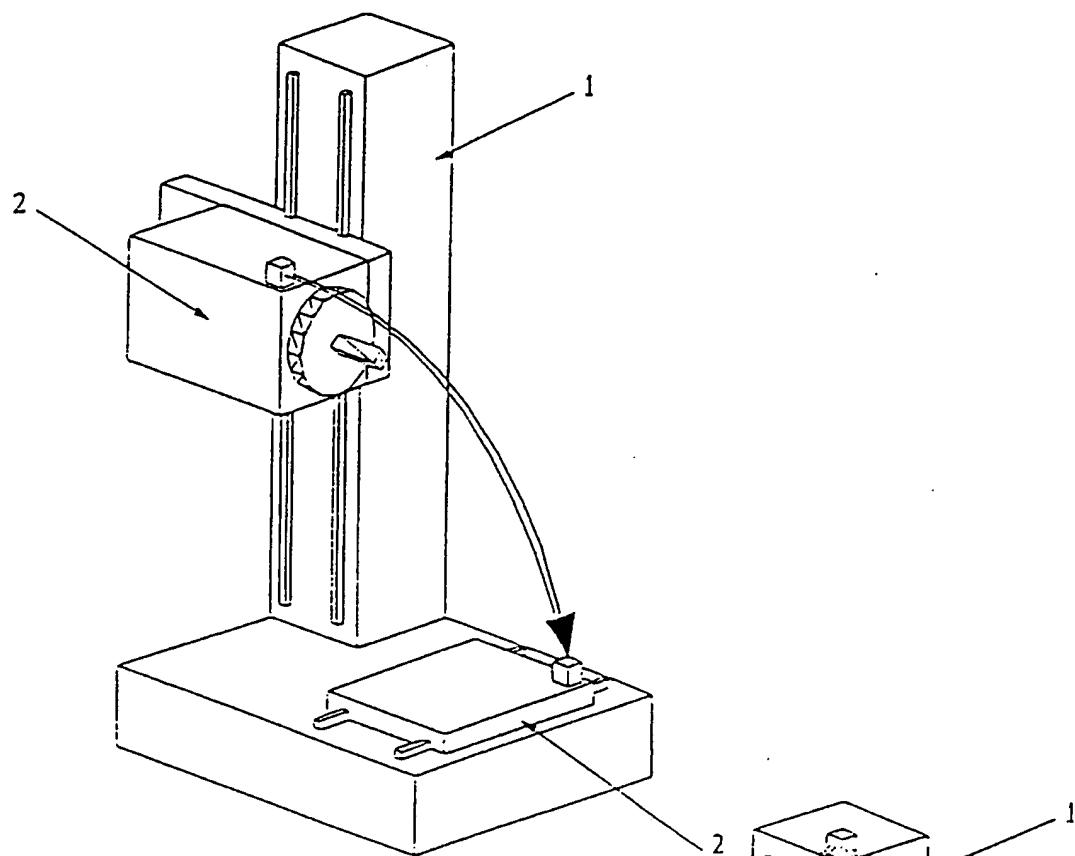


Fig. 9

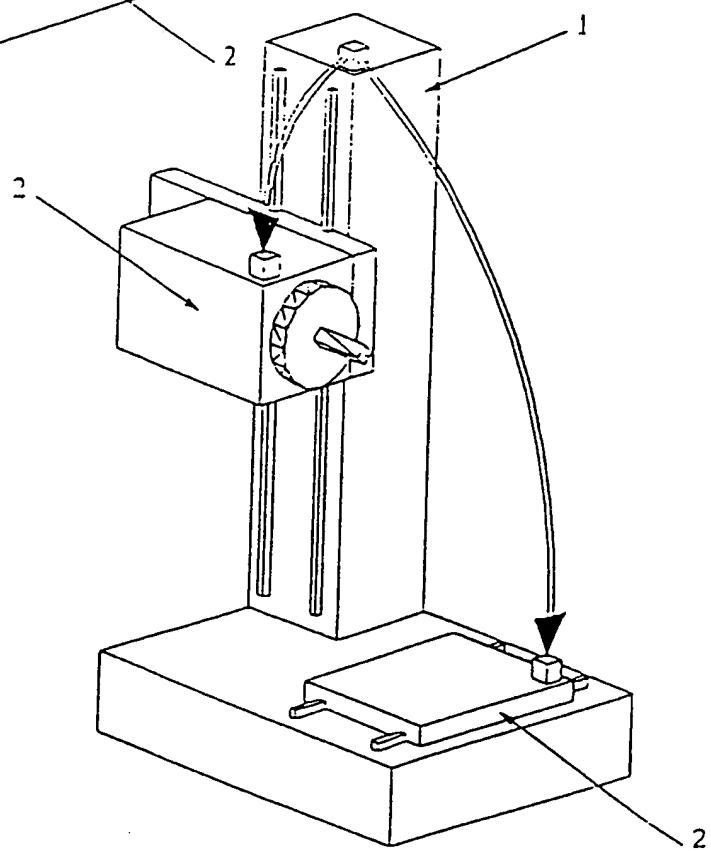
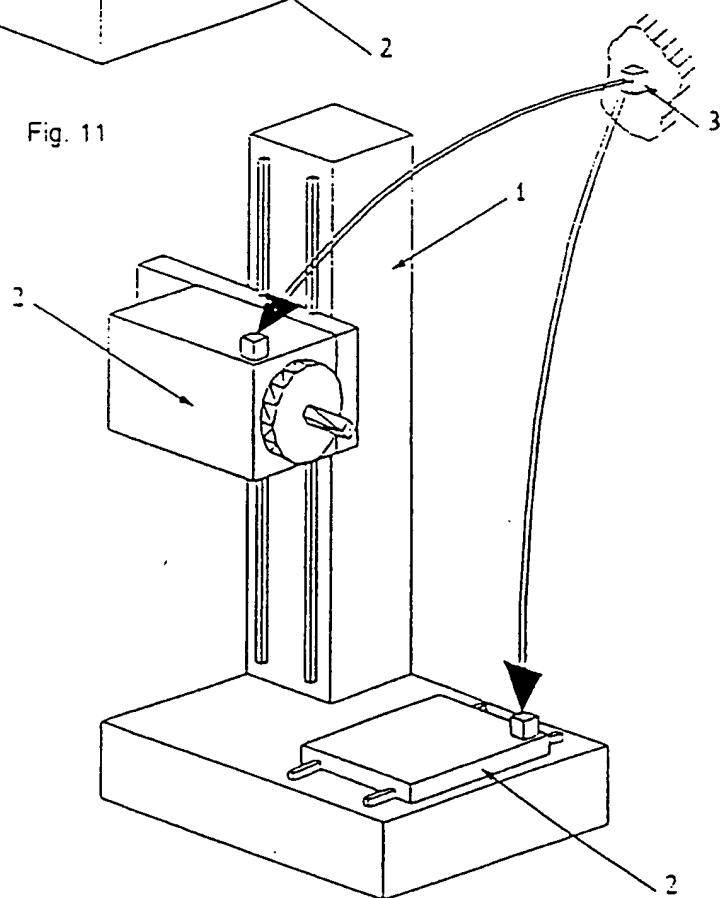
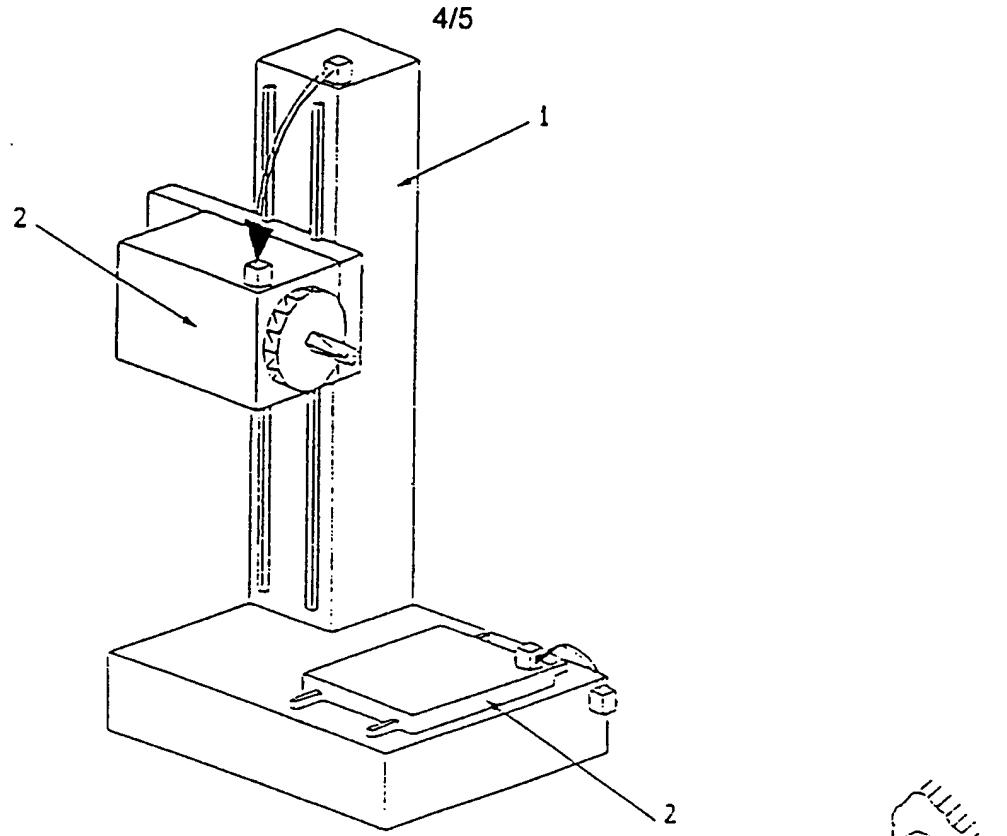


Fig. 10



5/5

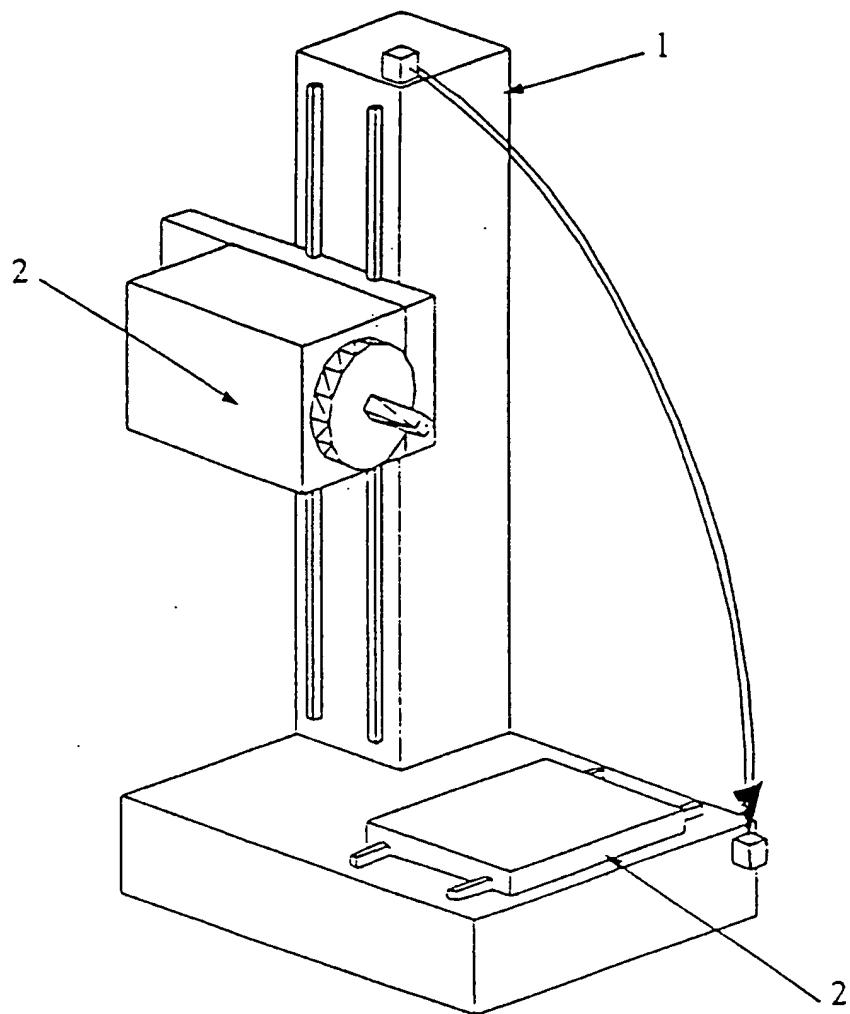


Fig. 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Search Application No.

PCT/EP 98/06734

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G05B19/404

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G05B B23Q

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-------------------------|
| X | US 4 621 926 A (MERRY ET AL) 11 November 1986 see column 7, line 47 - line 68; figure 7 --- | 1,2,4-9, 11 |
| X | EP 0 737 844 A (CANON K.K.) 16 October 1996 see abstract --- | 1,2,4,8, 9,11 |
| X | GB 2 310 150 A (WESTERN ATLAS UK LTD.) 20 August 1997 see page 6, line 7 - line 17; figure 1 see page 13, line 2 - line 11 --- | 1,2,4,8 |
| X | GB 2 255 636 A (CRANFIELD PRECISION ENGINEERING LIMITED) 11 November 1992 see abstract --- | 1,3-5,8, 9,11 -/- |



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 March 1999

Date of mailing of the international search report

17/03/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nt,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Carmichael, Guy

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 98/06734

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| X | EP 0 126 388 A (HITACHI LTD.) 28 November 1984 see page 5, line 3 – line 5; figure 1 --- | 1,3-5,8, 9,11 |
| X | EP 0 618 520 A (MIKRON S.P.A. BOLOGNA) 5 October 1994 see column 5, line 32 – line 46; figure 1 --- | 1,3-5,8, 11 |
| X | US 4 676 649 A (PHILLIPS) 30 June 1987 see column 3, line 36 – column 4, line 2 --- | 1,3,4,8, 9 |
| A | EP 0 599 020 A (MITSUBISHI DENKI K.K.) 1 June 1994 see abstract --- | 1 |
| A | DE 40 28 006 A (MESSERSCHMITT-BOLKÖW-BLOHM GMBH) 5 March 1992 --- | |
| P,X | WO 97 46925 A (THE BOEING COMPANY) 11 December 1997 see page 7, line 13 – line 21 see page 8, line 3 – line 15 --- | 1,2,4-9, 11 |
| P,X | DE 197 11 500 A (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 24 September 1998 see the whole document ----- | 1,2,4-8 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int'l Search Report No.

PCT/EP 98/06734

| Patent document cited in search report | | Publication date | Patent family member(s) | | Publication date |
|--|---|------------------|-------------------------|------------|------------------|
| US 4621926 | A | 11-11-1986 | NONE | | |
| EP 737844 | A | 16-10-1996 | JP | 8286758 A | 01-11-1996 |
| GB 2310150 | A | 20-08-1997 | EP | 0886811 A | 30-12-1998 |
| | | | WO | 9730381 A | 21-08-1997 |
| GB 2255636 | A | 11-11-1992 | GB | 2256606 A | 16-12-1992 |
| EP 126388 | A | 28-11-1984 | JP | 59208613 A | 27-11-1984 |
| | | | JP | 1768792 C | 30-06-1993 |
| | | | JP | 4045292 B | 24-07-1992 |
| | | | JP | 60114445 A | 20-06-1985 |
| EP 618520 | A | 05-10-1994 | IT | 1264104 B | 10-09-1996 |
| US 4676649 | A | 30-06-1987 | EP | 0230540 A | 05-08-1987 |
| | | | JP | 62152633 A | 07-07-1987 |
| EP 599020 | A | 01-06-1994 | JP | 2822809 B | 11-11-1998 |
| | | | JP | 6113579 A | 22-04-1994 |
| | | | DE | 69319405 D | 06-08-1998 |
| | | | US | 5432422 A | 11-07-1995 |
| DE 4028006 | A | 05-03-1992 | NONE | | |
| WO 9746925 | A | 11-12-1997 | AU | 3294197 A | 05-01-1998 |
| | | | CA | 2252754 A | 11-12-1997 |
| DE 19711500 | A | 24-09-1998 | NONE | | |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In nationales Aktenzeichen

PCT/EP 98/06734

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G05B19/404

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G05B B23Q

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| X | US 4 621 926 A (MERRY ET AL) 11. November 1986 siehe Spalte 7, Zeile 47 - Zeile 68; Abbildung 7 --- | 1,2,4-9, 11 |
| X | EP 0 737 844 A (CANON K.K.) 16. Oktober 1996 siehe Zusammenfassung --- | 1,2,4,8, 9,11 |
| X | GB 2 310 150 A (WESTERN ATLAS UK LTD.) 20. August 1997 siehe Seite 6, Zeile 7 - Zeile 17; Abbildung 1 siehe Seite 13, Zeile 2 - Zeile 11 --- | 1,2,4,8 |
| X | GB 2 255 636 A (CRANFIELD PRECISION ENGINEERING LIMITED) 11. November 1992 siehe Zusammenfassung --- | 1,3-5,8, 9,11 |
| | | -/- |

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11. März 1999

17/03/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Carmichael, Guy

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In nationales Aktenzeichen

PCT/EP 98/06734

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| X | EP 0 126 388 A (HITACHI LTD.) 28. November 1984 siehe Seite 5, Zeile 3 - Zeile 5; Abbildung 1 --- | 1,3-5,8, 9,11 |
| X | EP 0 618 520 A (MIKRON S.P.A. BOLOGNA) 5. Oktober 1994 siehe Spalte 5, Zeile 32 - Zeile 46; Abbildung 1 --- | 1,3-5,8, 11 |
| X | US 4 676 649 A (PHILLIPS) 30. Juni 1987 siehe Spalte 3, Zeile 36 - Spalte 4, Zeile 2 --- | 1,3,4,8, 9 |
| A | EP 0 599 020 A (MITSUBISHI DENKI K.K.) 1. Juni 1994 siehe Zusammenfassung --- | 1 |
| A | DE 40 28 006 A (MESSERSCHMITT-BOLKÖW-BLOHM GMBH) 5. März 1992 --- | |
| P,X | WO 97 46925 A (THE BOEING COMPANY) 11. Dezember 1997 siehe Seite 7, Zeile 13 - Zeile 21 siehe Seite 8, Zeile 3 - Zeile 15 --- | 1,2,4-9, 11 |
| P,X | DE 197 11 500 A (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 24. September 1998 siehe das ganze Dokument --- | 1,2,4-8 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 98/06734

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | | Datum der Veröffentlichung |
|--|---|-------------------------------|-----------------------------------|------------|-------------------------------|
| US 4621926 | A | 11-11-1986 | KEINE | | |
| EP 737844 | A | 16-10-1996 | JP | 8286758 A | 01-11-1996 |
| GB 2310150 | A | 20-08-1997 | EP | 0886811 A | 30-12-1998 |
| | | | WO | 9730381 A | 21-08-1997 |
| GB 2255636 | A | 11-11-1992 | GB | 2256606 A | 16-12-1992 |
| EP 126388 | A | 28-11-1984 | JP | 59208613 A | 27-11-1984 |
| | | | JP | 1768792 C | 30-06-1993 |
| | | | JP | 4045292 B | 24-07-1992 |
| | | | JP | 60114445 A | 20-06-1985 |
| EP 618520 | A | 05-10-1994 | IT | 1264104 B | 10-09-1996 |
| US 4676649 | A | 30-06-1987 | EP | 0230540 A | 05-08-1987 |
| | | | JP | 62152633 A | 07-07-1987 |
| EP 599020 | A | 01-06-1994 | JP | 2822809 B | 11-11-1998 |
| | | | JP | 6113579 A | 22-04-1994 |
| | | | DE | 69319405 D | 06-08-1998 |
| | | | US | 5432422 A | 11-07-1995 |
| DE 4028006 | A | 05-03-1992 | KEINE | | |
| WO 9746925 | A | 11-12-1997 | AU | 3294197 A | 05-01-1998 |
| | | | CA | 2252754 A | 11-12-1997 |
| DE 19711500 | A | 24-09-1998 | KEINE | | |

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADING TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.